

文章编号 :1006 - 2106(2007)02 - 0032 - 04

路基工后沉降控制技术在秦沈客运专线的应用^{*}

尹银轩^{1**} 崔俊杰¹ 李国和²

(1. 铁道第三勘察设计院 , 天津 300142 ; 2. 清华大学 , 北京 100084)

摘要 研究目的 本文对软土及松软土路基工后沉降控制技术进行探讨和总结 , 为今后修建类似铁路提供参考和经验。

研究方法 结合秦沈客运专线路基工后沉降控制情况 , 详细分析并确定了适合客运专线软土及松软土路基的设计计算基本程序 , 探讨了沉降观测方法、观测精度、频率及由实测的沉降资料进行未来沉降预测的方法。

研究结果 提出了软土及松软土路基工后沉降控制技术 & 动态设计的基本步骤。

研究结论 运用软土及松软土路基工后沉降控制技术 , 能够对路基工后沉降 & 沉降速率进行精确控制。

关键词 客运专线 ; 路基 ; 工后沉降控制

中图分类号 :U213.1⁺57 **文献标识码** :A

Application of the Control Technique for the Settlement after Construction in Qinhuangdao – Shenyang Passenger Dedicated Railway Line

YIN Yin – xuan¹ , CUI Jun – jie¹ , LI Guo – he²

(1. The Third Survey and Design Institute of China Railway , Tianjin 300142 , China ; 2. Tsinghua University , Beijing 100084 , China)

Abstract :**Research purposes** : This paper discusses and sums up the technique to control the settlement after construction and it provides the experience of building passenger dedicated railway line in soft soil zone for railway construction in similar region in the future.

Research methods : Combined with the circumstance of the settlement control after construction of Qinhuangdao – Shenyang passenger dedicated railway line , the basic design and compute procedures for loose soft soil roadbed are analysed detailedly and confirmed in this paper. The prognosticate method , prognosticate accuracy , frequency and various method to estimate settlement in the future from actually measure data are also discussed.

Research results : The control technique of the settlement after construction and the basic step and contentses of dynamic designs for the soft soil and the loose soft soil roadbed are put forward finally.

Research conclusions : We can control the settlement after construction and ground decline velocity by adopting the control technique of the settlement after construction in soft soil zone.

Key words : passenger dedicated railway line ; roadbed ; the control technique of settlement after construction

秦沈客运专线 A10 ~ A21 标段(DK 190 + 900 ~ DK 408 + 000) , 有近 93 km 的软土及松软土路基^[1] , 占全线的比例较大。为了有效控制工后沉降 & 沉降速率 , 在设计 & 施工中 , 采用了软土及松软土路基工后沉

* 收稿日期 2006 – 11 – 20

** 作者简介 尹银轩 , 1966 年出生 , 男 , 高级工程师。

降控制技术。沉降观测与动态设计是解决这一问题非常重要的手段^[2]。

1 软土及松软土路基设计计算荷载及相关参数

1.1 填土荷载

秦沈客运专线路基结构、压实标准与普通铁路相比有较大的差别,其基床表层为0.6 m厚的级配碎石,而其下填料压实标准有较大的提高,对基床表层的级配碎石层,重度取 22 kN/m^3 ,基床表层以下部分根据实验段取样结果分析,重度取 20.3 kN/m^3 ,比普通铁路路基的填土重度(18 kN/m^3)大。路基各层填料的聚黏力和内摩擦角的取值分别为 25 kPa 和 25° 。

1.2 列车荷载

轨道及列车荷载换算土柱高度和分布宽度,如表1和图1所示。

表1 轨道及列车荷载换算土柱高度和分布宽度			
设计轴重/kN	土的重度/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	计算高度/m	分布宽度/m
200	18	3.0	3.3
	19	2.8	

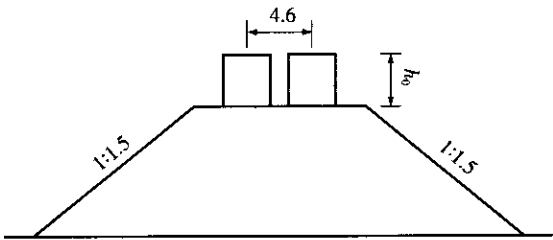


图1 轨道及列车荷载换算土柱(单位:m)

1.3 预压荷载(等载)的确定

秦沈客运专线大部分深厚层软弱地基,均采用了排水固结法结合预压处理,设计预压荷载的施加是从基床底层顶面开始的,预压土的重度取 18 kN/m^3 ,预压土底宽取 13.0 m ,边坡坡率 $1:1$,则:

单土柱重 $3\times3.3\times18=178.2\text{ (kN/m)}$
级配碎石重 $8.08\times22=177.76\text{ (kN/m)}$
由 $(13+13-2h)\times h\times18/2=178.2+177.76$ 得
等载预压土高度 $h=1.8\text{ m}$ 。

预压土荷载设计如图2所示。
设计预压土的施加是从基床底层顶面开始的,即填筑完基床底层后再填预压土。

2 软土及松软土路基设计计算及控制标准

2.1 稳定计算

路堤稳定计算是按固结有效应力法,采用圆弧法

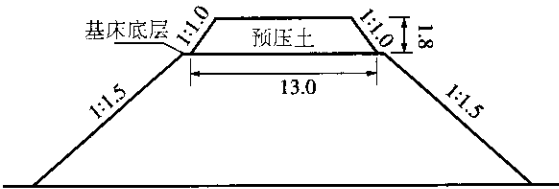


图2 预压土填筑方式(单位:m)

检算,列车活载按单荷考虑^[3]。考虑列车荷载(包括上部建筑)时,对软土路基的稳定性是有影响的,对路基本体的应力水平影响比较大,有荷载以后路基的应力水平明显提高。因此,考虑列车荷载时路堤滑动稳定安全系数不小于 1.15 ,不考虑列车荷载时为 1.25 。有预压土作用时,其稳定性系数同考虑列车荷载,取 1.15 。

2.2 沉降计算

在软弱地基上修筑路堤后,对于富含有机质土、泥炭土或高塑性黏土尚应计算次固结沉降。秦沈客运专线软弱地基地层中没有富含有机质土和泥炭土,因此在地基的总沉降量计算中不计算次固结沉降,计算瞬时沉降时,采用了经验系数法,即对总沉降量采用了经验系数 m 乘以主固结沉降 S_c 进行计算。

经验系数 m 按不同土质分别取值:压缩层为黏砂土时, $m=1.1$;压缩层为砂黏土时, $m=1.2$;压缩层为黏土时, $m=1.3$ 。

对于主固结沉降的计算,秦沈客运专线采用分层总和法计算,压缩试验资料利用 $e-p$ 曲线或 $e-\lg p$ 曲线,计算时活载按单线荷载考虑。

工后沉降控制标准:桥头过渡段不大于 8 cm ,区间不大于 15 cm ,工后第一年的沉降速率不大于 4 cm 。在填筑期间,填土速率的控制标准,路基中心地面的沉降不大于 10 mm/d 。

2.3 复合地基承载力

按复合地基处理的软弱地基,处理后地基在满足滑动稳定性和工后沉降要求的条件下,要求复合地基承载力不小于 150 kPa 。

2.4 压缩层厚度的确定

根据本线的地层特点,对压缩层厚度的确定规定如下:

2.4.1 软土地基,压缩层厚度为附加应力与自重应力比为 0.1 的深度;松软土地基,压缩层厚度为附加应力与自重应力比为 0.2 的深度。

2.4.2 松软土地基在压缩层范围内有 $IL<0.5$ (即硬塑状)土层时,则计算至该层为止,如硬塑土层下有厚度大于 3.0 m 的软弱土层时,则应计算至软弱土层底。

2.4.3 对压缩层范围内的砂类土层,不计算沉降量。

3 软土及松软土路基设计计算过程

3.1 按一定的填土速率连续填筑(包括预压土),填筑完成至铺轨为预压时间,铺轨时为列车和轨道荷载施加时间,计算天然地基的稳定性及工后沉降与沉降速率。

3.2 由于秦沈客运专线沿线均为良田,对稳定性不满足要求的地段,不采取占用耕地较多的反压护道处理措施,首先考虑基底铺设土工合成材料(土工格栅或编织布)加筋垫层,土工合成材料的铺设最多不超过2层;其次采用深层加固处理,加固的深度为:采用排水固结法处理为最不利滑动面以下2 m,采用复合地基处理为最不利滑动面下1 m。

3.3 如工后沉降量超标,先根据天然地基的分层沉降

计算结果,初步拟定处理深度及间距,然后计算其工后沉降量,根据计算结果重新调整处理深度及间距、桩径等设计参数。选择处理深度时,一般应穿透软土或松软土层,并达到相对硬底层。

3.4 如工后沉降速率每年超过4 cm,一般考虑采用预压处理,预压土高度根据检算确定,但最小预压荷载为等载。

3.5 填土速率的设计:根据工期先假定一填土速率,计算、绘制填土—时间—沉降曲线,根据曲线判断沉降速率是否满足填土控制标准,并检算填土期间地基的滑动稳定性,如有不满足要求,可以调整填土过程重新设计。

3.6 采用复合地基处理地段,还应检算复合地基承载力。

3.7 计算结果如表2(以A14标段为例)所示。

表2 软土及松软土地基检算结果

起讫里程	工点名称	总沉降量/cm	滑动稳定性安全系数
DK 263 + 400 ~ DK 263 + 600	软土地基路基	50.88	
DK 263 + 600 ~ DK 265 + 700		53.08	
DK 265 + 700 ~ DK 266 + 030		53.00	
DK 266 + 030 ~ DK 266 + 107.78		53.00	
DK 266 + 934.72 ~ DK 268 + 214.75		22.2 ~ 65.20	1.12
DK 274 + 691.33 ~ DK 275 + 882.20		7.68 ~ 42.74	1.42
DK 275 + 960.41 ~ DK 276 + 750		12.03 ~ 22.02	1.46
DK 280 + 100 ~ DK 280 + 640		3.80 ~ 26.59	1.19

4 软土及松软土地基处理措施的选择

根据计算结果结合沿线软弱地基的分布情况、道路条件、施工条件、周围环境,以及软弱地基工点在线路上的不同位置综合分析,对全线的软土及松软土工点分不同情况,采取了如下处理措施:

4.1 对于地表薄层松软土总厚度小于2 m,且位于地表地段的情况,路堤按一般路基设计,地下水位较高时,路堤基底铺设了0.5 m厚的渗水土。

4.2 对于地表薄层松软土总厚度小于4 m,为增加地基中孔隙水排出的通道,经稳定和沉降计算满足要求的地段,于路堤基底铺设0.5 m的砂垫层。

4.3 对有机物含量较高的薄层松软地段,采取换填渗水土处理。

4.4 松软土、软土层较厚地段,以塑料排水板、袋装砂井处理,采用三角形布置,间距1.1~1.4 m,对处理深度较深的地段,结合堆载预压的方法。

4.5 桥头过渡段工后沉降量要求严格,同时为使桥头路堤、涵洞群之间的填土与桥、涵刚度的平顺过渡,桥头过渡段及涵洞群之间采用了复合地基处理,处理的方法有碎石桩、砂桩、粉喷桩、旋喷桩、搅拌桩等。

4.6 为保证路堤稳定,并使路堤沉降均匀,于部分软弱地基砂、碎石垫层中铺了单向土工格栅、编织布以及土工格室等土工合成材料。

4.7 预压方案是路堤填至基床底层顶面设计高程后,先铺一层起隔离作用的编织布,然后填筑预压土。

4.8 排水固结法处理的路堤基床底层顶面设置抬高值,超填的高度为填完基床底层后至预压完成地基固结沉降量的一半。

4.9 设置沉降与位移观测设备,在路堤填筑过程中严格控制填土速率,控制标准为:路堤中心地面沉降速率≤10 mm/d,坡脚水平位移速率≤5 mm/d,并根据沉降观测情况进行综合分析,开展动态设计。

5 沉降观测

要严格控制路基的工后沉降及沉降速率,并对地基加固效果进行评价,单纯依靠常规的设计、施工程序是难以达到目的的。为此,对秦沈客运专线的软土及松软土路基进行了沉降观测,并在此基础上开展了未来沉降预测与动态设计^[4]。

5.1 沉降设备的埋设

秦沈客运专线软土及松软土路基地段均设置了沉

沉降观测设备(沉降板或沉降水杯)。设置的标准为:每个大、中、小桥台尾过渡段设置2个观测断面,一个距桥台1.0 m处,一个在过渡段中部;软土地段每隔100 m设置1个观测断面,松软地段工点长度在500 m以内时,间距100~200 m设1个观测断面;工点长大于500 m时,间距200 m 1个观测断面。每个观测断面,在线路中心设1个沉降板(杯),在两侧路肩各设1个观测桩($\phi 40$ mm,钢钎长1.0 m),在两侧路堤坡脚1.0~2.0 m及10~12 m处各设1个位移观测边桩,各观测桩位于同一断面上。

5.2 测量方法及精度

沉降观测按Ⅱ等水准要求,观测中误差为1 mm/km,在实际测量过程中,根据现场情况,采用闭合水准路线或附和水准路线,允许闭合差控制标准为:

$$\Delta = \pm \sqrt{L}$$

式中 L ——水准路线长(km)。

水准测量作业结束后,每条水准线路应以测段往返测高差不符值,计算每千米水准测量的偶然中误差:

$$M_{\Delta} = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[\frac{\Delta \Delta}{R} \right]}$$

式中 Δ ——测段往返测高差不符值(mm);

R ——测段长度(km);

n ——测段数。

无论是附和水准线路或闭合水准线路,允许闭合差或往返测高差不符值计算的每千米水准测量的偶然中误差超限时,均应分析原因,重测有关段落。

5.3 观测时间、频率及控制标准

秦沈客运专线沉降观测自路基本体施工埋设沉降观测设备开始观测,至2003年1月试运营通车,历时近3年时间。

在施工期间,一般每填筑一层应观测一次,如果2次填筑时间间隔较长,应每3天至少观测一次。路堤经过分层填筑达到设计高程后,在预压期前2~3个月内,每5天观测一次,3个月后7~15天观测一次,半年后1个月观测一次,如沉降变化较大的段落,适当调整观测频率。

对设置的沉降与位移观测设备,在路堤填筑过程中严格控制填土速率,控制标准为:路堤中心地面沉降速率 ≤ 10 mm/d,坡脚水平位移速率 ≤ 5 mm/d,并根据沉降观测情况进行综合分析,开展动态设计。

5.4 沉降预测方法

由沉降实测成果曲线推算最终沉降量及工后沉降量的方法较多,本线分别采用了修正双曲线法、修正指数函数法、双曲线法和星野法^[5]。

经过对几种方法的试用和比较,发现修正指数函数法的推算结果与其他几种方法比较,其结果偏小,修正双曲线、双曲线和星野法的推算结果相互差别不大,但每种方法由于对实测资料的利用阶段不同,对各实测曲线的适用性也并不完全一样。最终选择了以修正双曲线法为准,以修正指数函数法、双曲线法和星野法的推算结果为参考的预测方法。

6 动态设计对设计及施工的指导

根据施工的进展情况,通过对秦沈客运专线全线720个观测断面的沉降分析,分时提出动态设计分析报告,指导全线软土及松软土地基地段的设计及施工。

6.1 为确定预压土卸载时间,对A10、A12、A13、A14、A19、A20、A21共计7个标段33 km预压段落进行沉降预测分析,提供了沉降分析报告,确定了卸载时间。对部分控制施工进度的段落,提前进行沉降、稳定分析,提出沉降预测分析报告,对工后沉降及工后一年沉降速率满足要求的段落,经与实测资料综合分析,将预压期进行了调整,缓解了控制工期的“瓶颈”段落。对A14标段还调整了预压土段落及高度,对预压土卸载时间也进行了调整。

6.2 填筑级配碎石前,对全线松软及软土路基进行沉降分析,并根据沉降预测结果,调整基床底层顶面抬高值。

6.3 为了保证验交,对全线松软、软土路基进行推测沉降分析,提供了路基沉降状态分析报告,结合基床表层级配碎石验收标准,确定了路肩高程抬高值。

6.4 为了进行铺轨前路基评估,对全线松软、软土路基进行推算沉降分析,提供了以铺碴之日为工后起点的沉降分析报告。

7 结束语

7.1 本文提出了适合客运专线软土及松软土路基的设计计算基本程序,以及客运专线地基处理措施的选择原则。

7.2 根据对各种原位观测设备的埋设与观测方法、观测精度及频率等的分析实验,提出了原位观测设备布设的标准断面型式,并对由实测沉降资料进行未来沉降预测的各种方法及其适用性进行了分析。

7.3 阐述了软土及松软土路基动态设计的内容与步骤,并提出了预压土卸载条件、基床底层顶面和路肩抬高值的计算公式和设置标准等。

7.4 确定了沉降观测控制标准和随施工进度而要求的观测频次及观测精度,结合实例探讨了动态设计的

(下转第40页)

的无碴轨道(见图5),其优点是具有良好的稳定性、平顺性和舒适性,并且可减少维修工作量,是我国铁路工作者开发具有自主知识产权的板式轨道技术。

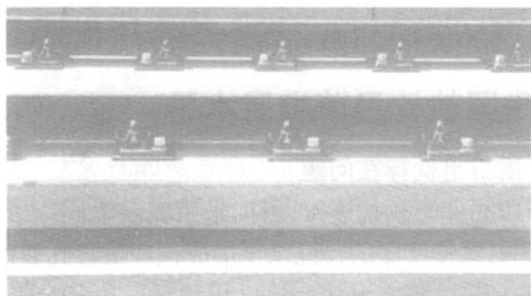


图5 秦沈客运专线轨道板

京津城际铁路拟引进德国 Bogl 型无碴轨道,铺设轨道板。

7.2.4 玻璃长纤维强化塑料发泡体合成轨枕

该轨枕为玻璃长纤维强化塑料发泡体,通过压缩粘结成型。具有重量轻、弹性好、耐腐蚀、绝缘性能好、抵抗机械损坏、便于现场锯切、施工简便等特点。该型式轨枕因成本较高,仅在特殊情况下选用。如上海地铁 M8 线人民广场站与既有 1 号线接轨换铺道岔(施工不能间断行车)设计采用了该轨枕,如图6所示。

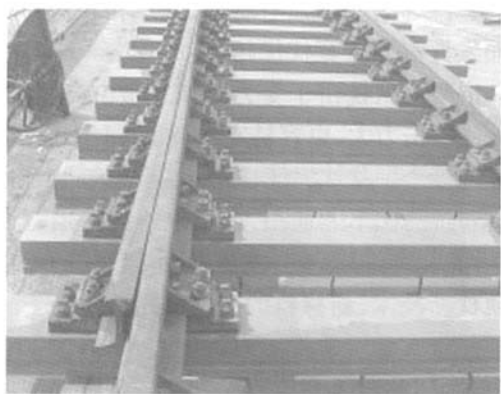


图6 合成轨枕

8 结束语

8.1 增加混凝土枕类型

根据我国国情除特殊地段铺设木枕外,均应铺设混凝土枕。目前我国生产的混凝土轨枕除供应国内市场还远销国外。但混凝土轨枕类型比较单一,没能按不同铺设条件,配置不同轨枕,如没有钢轨接头和非接头、小半径曲线和直线之分。因此,常常发生在钢轨接头处轨枕承受冲击力较大,小半径曲线地段轨枕承受水平力较大。从而,在特殊部位轨枕过早失效,增加养护维修作业工作量。

另外,混凝土枕一般按铺设在有碴道床、无碴道床用混凝土枕、短轨枕,弹性短轨枕尚无定型产品,给设计、施工带来不便。应增加混凝土轨枕类型,满足不同铺设条件的需要。

8.2 开发轨枕新品种

混凝土枕在结构、生产制造、维修养护诸方面存在上述问题,影响了使用寿命,应加以重视,实现使用期 50 年的目标。

除提高混凝土枕的使用寿命外,还应开发研制轨枕新品种,适应我国铁路高速、重载以及城市轨道交通迅猛发展的需求。

参考文献:

- [1] 卢祖文. 铁路轨道结构及维修[M]. 北京:中国铁路出版社,2002.
- [2] 吴信然. 秦沈客运专线箱梁和轨道工程施工新技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [3] 马克斯博格集团. Bogl 型无碴轨道[J]. 北京:铁路技术评论,2005(1):57-59.

(编辑 慕成娟 张 滨)

(上接第35页)

步骤和方法。研究表明,运用软土及松软土路基工后沉降控制技术,能够对路基工后沉降和沉降速率进行精确控制。

参考文献:

- [1] 王永国. 秦沈客运专线的工程地质问题——软土、松软土[J]. 铁道工程学报,2005(增刊):233-238.
- [2] 彭泽仁. 秦沈客运专线路基技术特点[J]. 路基工程,2002

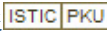
万方数据

(5):1-5.

- [3] 铁道第一勘察设计院. 铁路工程设计手册·路基[M]. 北京:中国铁道出版社,1995.
- [4] 杨明雨. 沉降观测在秦沈客运专线路基工程中的应用[J]. 路基工程,2002(5):41-43.
- [5] 宋绪国,刘远锋,杨明雨,等. 沉降观测在秦沈客运专线路基工程中的应用[J]. 路基工程,2002(5):37-40.

(编辑 马 丽 张 滨)

路基工后沉降控制在秦沈客运专线的应用

作者: 尹银轩, 崔俊杰, 李国和, [YIN Yin-xuan](#), [CUI Jun-jie](#), [LI Guo-he](#)
作者单位: 尹银轩, 崔俊杰, [YIN Yin-xuan](#), [CUI Jun-jie](#) (铁道第三勘察设计院, 天津, 300142), [李国和](#), [LI Guo-he](#) (清华大学, 北京, 100084)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2007, 24 (2)
被引用次数: 3次

参考文献(5条)

1. [王永国](#) 秦沈客运专线的工程地质问题—软土、松软土 [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2005 (zk)
2. [彭泽仁](#) 秦沈客运专线路基技术特点 [期刊论文]-[路基工程](#) 2002 (05)
3. [铁道部第一勘察设计院](#) 铁路工程设计手册·路基 1995
4. [杨明雨](#); [刘远锋](#); [杨明雨](#) 沉降观测在秦沈客运专线路基工程中的应用 [期刊论文]-[路基工程](#) 2002 (05)
5. [宋绪国](#); [刘远锋](#); [杨明雨](#) 沉降观测在秦沈客运专线路基工程中的应用 [期刊论文]-[路基工程](#) 2002 (05)

本文读者也读过(9条)

1. [魏永幸](#). [WEI Yong-xing](#) 客运专线无砟轨道铁路工后沉降评估技术 [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2008 (z1)
2. [裴立军](#). [吴连海](#). [PEI Li-jun](#). [WU Lian-hai](#) 黏质黄土地基路基静置时间对工后沉降的影响 [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2010 (8)
3. [折学森](#). [刘保林](#). [周志军](#). [ZHE Xue-shen](#). [LIU Bao-lin](#). [ZHOU Zhi-jun](#) 灰色理论在土石混填路基工后沉降预测中的应用 [期刊论文]-[西部交通科技](#) 2006 (3)
4. [原方](#). [张大伟](#). [张明](#). [Yuan Fang](#). [Zhang Dawei](#). [Zhang Ming](#) 桩-网复合地基工后沉降预测方法研究 [期刊论文]-[路基工程](#) 2007 (5)
5. [寿旭江](#). [罗战友](#) 路基荷载作用下刚性桩复合地基的全过程沉降量的预测方法 [会议论文]-2005
6. [李敏](#). [王连俊](#). [丁铭绩](#). [LI Min](#). [WANG Lian-jun](#). [DING Ming-ji](#) 铁路路基工后沉降的数值仿真分析 [期刊论文]-[金陵科技学院学报](#) 2006, 22 (3)
7. [李昌栩](#). [LI Chang-xu](#) 软土地基加固的沉降预测 [期刊论文]-[山西建筑](#) 2010, 36 (27)
8. [赵峥嵘](#) 碎石桩壳法加固软土地基的工程实例与探讨 [期刊论文]-[公路交通技术](#) 2005 (1)
9. [黄磊](#). [李东](#). [李锐](#) 浅谈公路软土地基加固处理方法 [期刊论文]-[中国新技术新产品](#) 2011 (7)

引证文献(3条)

1. [郭超](#). [闫澍汪](#). [宋绪国](#) 京津城际路基沉降数值模拟与原位观测对比分析 [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2009 (8)
2. [王登浩](#) 武广铁路客运专线沉降观测与预测技术 [期刊论文]-[铁道科学与工程学报](#) 2008 (3)
3. [吴波](#) 铁路路基工程建设过程中工后沉降控制措施分析 [期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2008 (6)

引用本文格式: 尹银轩, 崔俊杰, 李国和, [YIN Yin-xuan](#), [CUI Jun-jie](#), [LI Guo-he](#) 路基工后沉降控制在秦沈客运专线的应
用 [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2007 (2)